

Translation of the attached sheet (Japanese text portions only)
Background Art Information

Patent No./Publication Inventor(s)/Author(s) Date etc

Jpn. Pat. Appln. KOKAI Publication No. P2001-15839; January 19, 2001

Optical Fiber Pumped Solid-State Laser; Hitachi Metals, Ltd.

*Concise Explanation

This publication mentions a connection between a bundle optical fiber and a single core optical fiber and not a change in characteristics due to the position of fibers constituting the bundle optical fiber.

Prior Applications of Inventors or of Kabushiki Kaisha Toshiba (Assignee)

Application No.	Toshiba Reference	Country	Agent	memo
-----------------	-------------------	---------	-------	------

Inventor(s)

Signature & Date

Patent engineer's comment on inventor's information or patent engineer's information

*

Checked by

Dated

Toshiba Reference

Japanese Agent's Ref

sheet

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-15839

(P2001-15839A)

(43)公開日 平成13年1月19日(2001.1.19)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

マークコード^{*}(参考)

H 01 S 3/094

H 01 S 3/094

S 2 K 0 0 2

G 02 F 1/37

G 02 F 1/37

Z 5 F 0 7 2

H 01 S 3/109

H 01 S 3/109

3/16

3/16

審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全6頁)

(21)出願番号

特願平11-187614

(71)出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都港区芝浦一丁目2番1号

(22)出願日 平成11年7月1日(1999.7.1)

(72)発明者 牧尾 謙

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社磁性材料研究所内

(72)発明者 三田 正裕

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社磁性材料研究所内

Fターム(参考) 2K002 AA05 AA06 AB12 BA01 CA02

GA04 HA20

5F072 AB20 JJ02 JJ08 KK12 KK26

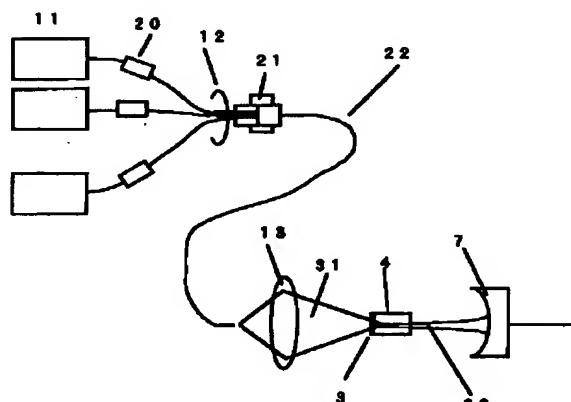
KK30 PP07 QQ02 RR03 YY18

(54)【発明の名称】光ファイバ励起固体レーザ装置

(57)【要約】

【課題】バンドル光ファイバによる固体レーザ励起の高効率化する。

【解決手段】固体レーザの励起用半導体レーザとして複数のファイバ出力半導体レーザによるバンドル光ファイバを用いる場合に、集合されたファイバコアの最外径と同じか、もしくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコア光ファイバを光コネクタアダプタにより接続することで、励起バランスの優れた固体レーザ励起光を得ることができ励起効率が良い固体レーザ光源の実現を図る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 励起光源により励起される固体レーザ結晶と、前記固体レーザ結晶から発生する発振波を反射するレーザミラーとからなる固体レーザ光源であつて、前記励起光源として半導体レーザを光ファイバに結合させて出力する光ファイバ出力半導体レーザを複数用いる場合において、その光ファイバを複数本束ねたマルチコアバンドル光ファイバの最外コア径と同じ若しくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコアの光ファイバとを、光コネクタアダプタにより接続することで、シングルコアからの光ファイバ出力光を前記固体レーザの励起用に用いたことを特徴とする光ファイバ励起固体レーザ装置。
10

【請求項2】 励起光源としての半導体レーザと、前記励起光源により励起される固体レーザ結晶と、固体レーザ結晶から発生する第1の発振波の波長を制御するための制御素子と、前記第1の発振波を基本波として第2の発振波である第二高調波に波長変換するための非線形光学結晶とを有する共振器からなる第二高調波発生装置を構成し、前記固体レーザの励起光源として半導体レーザ20を光ファイバに結合させて出力する光ファイバ出力半導体レーザを複数用いる場合において、その光ファイバを複数本束ねたマルチコアバンドル光ファイバの最外コア径と同じ若しくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコアの光ファイバとを、光コネクタアダプタにより接続することで、シングルコアからの光ファイバ出力光を前記固体レーザの励起用に用いたことを特徴とする光ファイバ励起固体レーザ装置。

【請求項3】 前記半導体レーザの発光幅がシングルストライプもしくはマルチストライプ型アレーであること30を特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ励起固体レーザ装置。

【請求項4】 前記固体レーザ結晶がLiSAF (Cr:LiSrAlF₆; クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムアルミニウム) 又はLiSGAF (Cr:LiSrGaF₆; クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムガリウム) であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の光ファイバ励起固体レーザ装置。

【請求項5】 前記固体レーザ結晶から発生する第1の発振波長を制御するための制御素子としてブリュースタ角に傾けた1枚の複屈折結晶を用いることを特徴とする請求項2乃至請求項4のいずれかに記載の光ファイバ励起固体レーザ装置。
40

【請求項6】 前記非線形光学結晶にLBO (LiB₃O₅)、BBO (β -BaB₂O₄)、CLBO (CsLiB₆O₁₀)、CBO (CsB₃O₅)、GdCOB (GdCaO(BO₃)₃)、YCOB (YCaO(BO₃)₃)、KN (KNbO₃) の少なくとも1つを用いることを特徴とする請求項2乃至請求項5のいずれかに記載の光ファイバ励起固体レーザ装置。
50

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光エレクトロニクス分野に関し、特にレーザ光源および可視レーザ光源を用いたレーザプリンタ装置、微粒子検出装置、光造形装置、光記録装置等のレーザ応用装置に関する。

【0002】

【従来の技術】固体レーザにおける励起光源として用いられる半導体レーザは、固体レーザ励起用に高い出力が要求される。高出力を得るために半導体レーザはレーザの発光幅であるストライプ幅を100μm以上と広げることで高い出力を得ている。これら半導体レーザの発光面は100μm×1μmと長方形であり、半導体レーザからの出射光は縦横方向のビーム拡がり角が大きく異なり、プリズムなどによるビーム補正の光学系でいったん平行ビームに整形して、集光レンズを用いて固体レーザ結晶を励起する。集光されたビームは発光面の形状が保存されるために長方形をしている。一般に固体レーザ共振器のビーム形状は円形であり、レーザ発振の効率を上げるために共振器内のビーム形状と固体レーザに入射される励起ビームを一致させる必要がある。励起ビームが長方形の場合、共振器ビーム形状(円形)から外れた励起ビームは殆どが熱に変換されるだけでレーザ発振には寄与しない。

【0003】このため、レーザ発振の効率を上げるために励起ビームの形状を円形にする方法として、光ファイバを伝送してきた光を固体レーザの励起光として使用する方法がある。光ファイバは円形状のコアとクラッドから構成されており、コアの屈折率がクラッドよりも高いために光はコアとクラッドの境界面を全反射しながら伝送される。このため、光ファイバのコア径に依存した円形のビームを得ることができる。光ファイバからの出射光を固体レーザの励起光源として使用することは公知例(特開昭56-24989号)により知られている。また、前記公知例により高い励起光を得るために複数の光ファイバを束ねてバンドル状にして用いることも知られている。図4は従来例を説明するための図であり、光ファイバ出力半導体レーザ11を複数個使用し、光ファイバを束ねてバンドルファイバ12としている。バンドルファイバから出力されたレーザ光31はレンズ13により固体レーザ4に集光して発振波32を発生させ、固体レーザ4の端面に形成されたミラー3とレーザミラー7とで共振器を形成している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】前記公知例では複数の光ファイバを束ねてバンドル状のまま用いる場合やそれぞれのバンドルファイバとシングルコアの単一光ファイバ融着して使用する方法を開示している。このようにバンドル形状のままの場合には、複数のコアが存在しており、それぞれのコアから別々に複数の励起ビームが出力

されることになり、半導体レーザの出力差などにより励起分布が不均一になる問題点がある。また、融着する場合にはコア径が熱処理により拡大したり、円形状からずれるなどにより、それぞれのコアからのビームの出射形状が異なり、接続融着部分での損失が発生する問題点があった。

【0005】

【課題を解決するための手段】前記技術課題を解決するための手段として、本願発明者らは複数本の光ファイバを束ねて光コネクタを作製し、複数のコアの束の最外径¹⁰と同じかそれよりも大きなコア径を有するシングルコアの光ファイバに光コネクタアダプタを介して、光ファイバ端面どうしを直接、機械的に接続することにより、融着による変形損失の影響を低減することができる。つまり、複数の半導体レーザの出力の不均一性や損失を低減でき、複数の光ファイバ出力を単一の円形で安定したシングルコア光ファイバとして合成できることを見い出し、本発明に想到したものである。

【0006】すなわち本発明は、励起光源としての半導体レーザと、前記励起光源により励起される固体レーザ²⁰結晶と、前記固体レーザ結晶から発生する発振波を反射するレーザミラーとからなる固体レーザ光源であって、励起光源として半導体レーザを光ファイバに結合させて出力する光ファイバ出力半導体レーザを複数用いる場合において、その光ファイバを複数本束ねたマルチコアバンドル光ファイバの最外コア径と同じもしくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコアの光ファイバとを光コネクタアダプタにより接続してシングルコアからの光ファイバ出力光を前記固体レーザの励起用に用いた光ファイバ励起固体レーザ装置である。³⁰

【0007】さらに、本発明は、励起光源としての半導体レーザと、前記励起光源により励起される固体レーザ結晶と、固体レーザ結晶から発生する第1の発振波の波長を制御するための制御素子と、前記第1の発振波を基本波として第2の発振波である第二高調波に波長変換するための非線形光学結晶とを有する共振器からなる第二高調波発生装置においても、光ファイバ出力半導体レーザを複数本束ねたマルチコアバンドル光ファイバの最外コア径と同じもしくはそれよりも大きなコア径をもつシングルコアの光ファイバとを光コネクタアダプタにより接続してシングルコアからの光ファイバ出力光を固体レーザの励起用に用いた光ファイバ励起固体レーザ装置である。⁴⁰

【0008】ここで半導体レーザは、発光幅がシングルストライプあるいはマルチストライプ型アレー半導体レーザからの光を光ファイバに結合させて、光ファイバ出力としたものを用いることが望ましい。

【0009】半導体レーザ励起波長可変固体レーザ装置として波長750～1000nmで発振するレーザ結晶としてLiSAF (Cr:LiSrAlF₆ ; クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムアルミニウム) 結晶を用いたレーザ装置が提案されているが、ここで固体レーザ結晶にLiSAF (Cr:LiSrAlF₆ ; クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムアルミニウム) 結晶を用いた場合には、第1の発振波を波長800～900nmの領域で発生することができ、青色領域(波長400～450nm)の第2の発振波を発生できる。またあるいは、前記の固体レーザ結晶にLiSGAF (Cr:LiSrGaF₆ ; クロム添加のフッ化リチウムガリウム) 結晶を用いる場合には、第1の発振波を800～1000nmの領域で発生することができ、青色領域の波長400～500nmの第2の発振波を発生できる。

4

【0010】また、LiSAF結晶から発生する第1の発振波長を制御するための制御素子としてLiSAF結晶と非線形光学結晶の間にプリュースタ角に傾けた1枚の複屈折結晶を配置することで、効率良くレーザ光を発生できる。

【0011】また、位相整合半値幅が比較的広いLBO (LiB₃O₅)、BBO (β -BaB₂O₄)、CLBO (CsLiB₆O₁₀)、CBO (CsB₃O₅)、GdCOB (GdCaO (BO₃)₃)、YCOB (YCaO (BO₃)₃)、KN (KNbO₃) の少なくとも1つをSHG結晶である非線形光学結晶に用いることでSHG光を発生することができる。これらの手段を採用することで固体レーザの特長である小型で、取り扱いが容易かつ低消費電力の固体レーザ装置を高効率で実現できる。

【0012】

【発明の実施の形態】(実施例1) 本発明である、バンドル光ファイバとシングルコア光ファイバの関係を説明する。図1は光ファイバの構成図を説明するための図である。図1(a)は光ファイバー単体の断面を示し、(b)は3本の光ファイバとこれに対応する最外のコア径103(D3)を示し、(c)は同様にそれぞれ7本、19本、37本を束ねた場合の最外のコア径(103(D7) (D19) (D37))と一緒に図示したものである。図1(a)では光ファイバのコア102の径をaとし、クラッド101の径をbとしている。光ファイバを束ねてバンドルにするには、なるべく隙間がない様に束ねるために、図1(b)、(c)に示す様にバンドルファイバの本数nは3、7、19、37…本と言うように組み合わせの本数が限られてしまう。そこでバンドル光ファイバを構成した場合、集合された光ファイバの最外径のコア径103をDnで表わすとすると、例えば、n=3でD3=2b/ $\sqrt{3+a}$ 、n=7でD7=2b+aと言うように計算される。表1ではファイバコア径aと、クラッド径bがそれぞれ50μmと125μmの場合をa/b=50/125と表し、その計算結果を示している。つまり、n=3でD3=194.3μm、n=7でD7=300μm、n=19でD19=550μm、n=37でD37=800μmである。一方、同様に100μmと140μmの場合はa/

5

$b=100/140$ とし、 $n=3$ で $D_3=261.6\mu m$ 、 $n=7$ で $D_7=380\mu m$ 、 $n=19$ で $D_{19}=660\mu m$ 、 $n=37$ で $D_{37}=940\mu m$ と計算される。

*【0013】

【表1】

6

N	DN	a/b (μm)	
		50/125	100/140
1	a	50	100
3	$2b/\sqrt{3}+a$	194.3	261.6
7	$2b+a$	300	380
19	$4b+a$	550	660
37	$6b+a$	800	940
.	.		
.	.		
.	.		

【0014】図1(b)及び(c)のコア径103(D3)(D7)(D19)(D37)は、それぞれのシングルコア光ファイバのコア径に対応して見立てるこどもできる。例えば、 $a/b=50/125$ の光ファイバを3本束ねたバンドルでは、コアの最外径は194.3 μm となるので、接続すべきシングルコア光ファイバとしてはこれよりも大きいコア径、つまり103(D3)よりも大きい径の例えは200 μm のものを使用しなければならないということになる。このように表1に示したバンドルファイバのコア径に対して、接続する側のシングルコア光ファイバのコア径は損失を最小限にするために D_n と同じ、若しくはそれよりも大きい径を選択することが必要である。これによって低損失かつ効率的にシングルコアの光ファイバに結合することができる。

【0015】図2は本発明の一実施例を説明するための図である。光ファイバ出力半導体レーザ11を3個使用し、光ファイバを束ねたバンドルファイバ12と光コネクタ20を介して接続している。ファイバ出力半導体レーザ11はコヒレンント社製の光ファイバコア径100 μm 、出力400mWで発振波長670nmである。表1より $D_3=261.6\mu m$ であるため、シングルコア光ファイバコア径は300 μm とした。バンドルファイバ12は光コネクタアダプタ21によりコア径300 μm のシングルコア光ファイバ22と接続されている。本例の最大光ファイバ出力は約1200mWが得られ、このときの結合損失は0.5%であった。シングルコア光ファイバ22から出力されたレーザ光31はレンズ13により固体レーザ4に集光される。

【0016】励起される固体レーザ結晶4は発振波を発生し、曲率ミラーである出射側のレーザミラー7と固体レーザ結晶4の入射端面に形成された発振波を反射するレーザミラー3からなるレーザ共振器でレーザ光を発生する。第一のレーザミラー3は固体レーザ結晶の半導体レーザの入射端面に形成されており、半導体レーザから

の励起光波長に対して85%以上を透過し、さらに基本波波長に対しては反射率99%以上の全反射(以下単にH.R.という; High-Reflection)コーティングを施している。また、共振器の内側の端面には基本波波長に対して反射率2%以下の無反射(以下単にA.R.という; Anti-Reflection)コーティングを施してある。このとき共振器構造は凹平式共振器であり、第二のレーザミラー7の曲率半径は25mm、共振器長は20mmとし、発振波を1%透過する反射膜コーティングを施してある。レーザ結晶4にはCr添加量1.5mol%のLiSAF結晶($\phi 3 \times 5 mm$)を用いた。このときのレーザ発振波の出力光としては100mWが得られた。

【0017】シングルコア光ファイバ22を用いないで図4の従来例の様にファイババンドル12からの励起光でレーザ発振させた場合にはレーザ発振波の出力は80mWしか得られなかった。本実施例1では固体レーザ結晶としてCr:LiSAF結晶を用いたが、他の波長帯の固体レーザ結晶としてNdやYb等をドープした固体レーザ結晶を用いたレーザにも適応可能であることは明らかである。

【0018】(実施例2)図3は本発明の他の実施例を説明するための共振器部分のみの図である。半導体レーザおよび集光光学系からなる励起光学系は実施例1と同様である。励起される固体レーザ結晶4は基本波である第1発振波を発生し、曲率ミラーである入射側の第一のレーザミラー3とSHG結晶6の出射端面に形成された第1の発振波を反射する第二のレーザミラー7とからなるレーザ共振器で第1の発振波である基本波32を発生する。レーザ共振器中にはレーザ結晶4と波長制御素子5とSHG結晶6が配置されている。第一のレーザミラー3は半導体レーザからの励起光波長に対して85%以上を透過し、さらに基本波波長に対しては反射率99%以上の全反射(H.R.)コーティングを施してある。このとき共振器構造は凹平式共振器であり、第一のレーザミ

7

ラー3の曲率半径は25mm、共振器長は20mmとした。レーザ結晶4にはCr添加量1.5mol%のLiSAF結晶($\phi 3 \times 5$ mm)を用い、結晶端面には励起光波長と基本波波長に対して反射率2%以下の無反射(AR)コーティングを施してある。SHG結晶6は $3 \times 3 \times 5$ mmのLBO結晶である。

【0019】LBO結晶の出射側つまり後方端面には基本波波長に対して反射率99%以上のHRコーティングと、さらにSHG波長に対して反射率1%以下のARコーティングを施して第二のレーザミラー7とした。また、LBO結晶の入射側つまり前方端面には基本波波長に対して反射率0.2%以下のARコーティングを施した。波長制御素子5には厚さ0.5mmの1枚の水晶板からなる複屈折フィルタを用い、光軸に対してプリュースター一角に配置して法線方向を軸に回転させることで波長制御し、SHG結晶6であるLBO結晶の変換効率が最大となる基本波の波長に調整することでSHG出力30mWを得た。

【0020】

【発明の効果】本発明では固体レーザの励起用半導体レーザとして複数のファイバ出力半導体レーザによるバンドル光ファイバを用いる場合に集合されたファイバコアの最外径と同じ若しくはそれよりも大きなシングルコア光ファイバを光コネクタアダプタにより接続することで、励起バランスの優れた固体レーザ励起光を得ることにより、固体レーザや特にLiSAFレーザを用いた内部共振器型SHGレーザにおいて、励起効率が良い固体

8

*レーザ光源を実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例であるバンドル光ファイバを説明するための図である。

【図2】本発明の一実施例を説明するための図である。

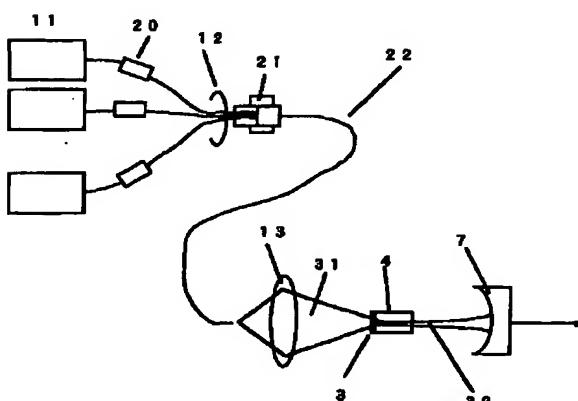
【図3】本発明の他の一実施例を説明するための図である。

【図4】従来に提案された光ファイバ励起固体レーザを説明するための図である。

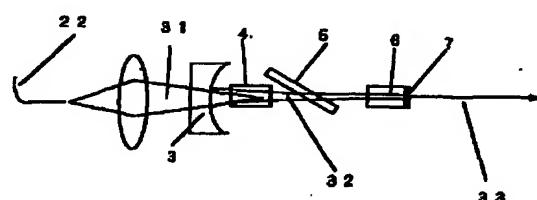
【符号の説明】

3 : 第一のレーザミラー	4 : レーザ結晶
5 : 波長制御素子	6 : SHG結晶
7 : 第二のレーザミラー	11 : 半導体レーザ
12 : バンドル光ファイバ	13 : レンズ
20 : 光コネクタ	21 : 光コネクタアダプタ
22 : シングルコア光ファイバ	22 : 励起ビーム
31 : 基本波ビーム	33 : SHG出力
32 : 光ファイバクラッド	101 : 光ファイバコア
33 : バンドル光ファイバの最外径	102 : 光ファイバコア

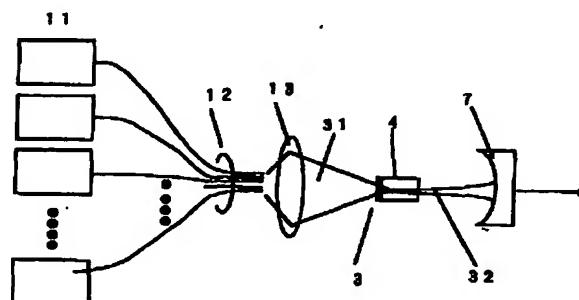
【図2】



【図3】



【図4】



【図1】

